

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-220387  
(43)Date of publication of application : 30.08.1996

(51)Int.Cl.

G02B 6/42  
H01S 3/18

(21)Application number : 07-024262

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 13.02.1995

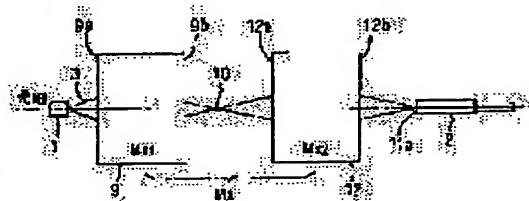
(72)Inventor : ADACHI AKIHIRO

## (54) OPTICAL COUPLER AND ITS ADJUSTMENT METHOD AND OPTICAL AMPLIFIER DEVICE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To make it possible to lessen the astigmatism at the imaging point generated by a deviation in the position setting between a semiconductor laser and a collimating lens by simple correction by providing the above optical coupler with a first coupling system, a second coupling system and an optical fiber for receiving the exit beam of this second coupling system.

**CONSTITUTION:** This optical coupler has the first coupling system 9, the second coupling system 12 for receiving the exit beam of the coupling system 9 and imaging the beam within a first plane and a second plane and the optical fiber 2 for receiving the exit beam of the second coupling system. The first coupling system 9 receives the exit beam of the semiconductor laser 1 and images the beam within the first plane parallel with the direction of the exit beam. The exit beam of the semiconductor laser 1 is approximately paralleled within the second plane parallel with the direction of the exit beam of the semiconductor laser 1 and intersecting with the first plane. The second coupling system 12 receives the exit beam of the first coupling system 9 and images the beam within the first and second planes. The optical fiber 2 receives the exit beam of the second coupling system 12, by which the positions of the imaging points within the respective planes are independently adjusted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/42

G 0 2 B 6/42

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平7-24262

(22) 出願日

平成7年(1995)2月13日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 足立 明宏

鎌倉市大船五丁目1番1号 三菱電機株式  
会社電子システム研究所内

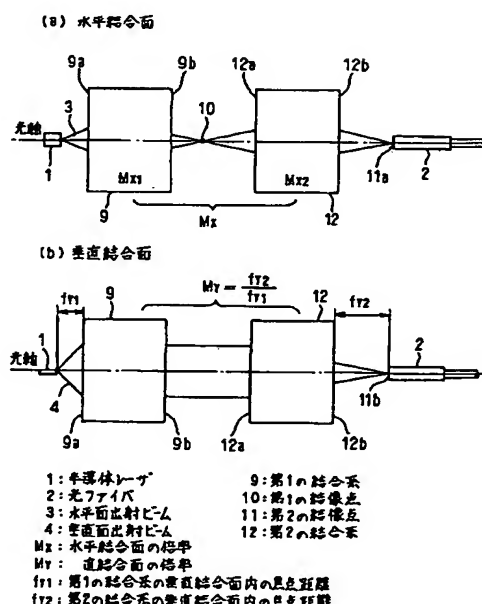
(74) 代理人 弁理士 高田 守 (外4名)

(54) 【発明の名称】 光結合装置及びその調整方法並びに光増幅装置

(57) 【要約】

【目的】 半導体レーザとレンズの位置設定のずれにより生じる結像点での非点隔差を、緩やかな精度の調整で補正することができる光結合装置を得る。

【構成】 半導体レーザの活性層に水平な水平結合面と、この半導体レーザの活性層に垂直な垂直結合面のそれぞれの結合倍率 $M_x$ 、 $M_y$ を異なる値に設定するとともに、水平結合面の結合系における光を2回結像するリレー結合系とし、垂直結合面の結合面における結合系をコリメート結合系としたものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザビームを出射する半導体レーザと、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザの出射ビームを略平行にする第1の結合系と、上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させる第2の結合系と、上記第2の結合系の出射ビームを受ける光ファイバとを備えた光結合装置。

【請求項2】 上記半導体レーザの出射ビームの出射角が小さくなる方向に上記第1の平面を設定したことを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項3】 上記第1の平面を上記半導体レーザの活性層に平行な水平結合面とし、上記第2の平面を上記半導体レーザの活性層に垂直な垂直結合面としたことを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項4】 上記第1の結合系を、上記第1の平面内及び上記第2の平面内で同じ焦点距離を有し、それぞれの平面内で上記半導体レーザの出射ビームを平行ビームに変換する第1のレンズと、入出力面のうちのすくなくとも一方が略円筒状であり、上記第1のレンズの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームのまま透過する第2のレンズとから構成することを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項5】 上記第1の結合系を、略球面状の入力面及び略円筒状の出力面を有し、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームにして出射するレンズから構成することを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項6】 上記第2の結合系を、屈折率の分布特性が光軸から半径方向に向かって小さくなる放物線状であり、略円筒状の入力面及び平面状の出力面を有し、上記第1の結合系により上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する第3のレンズから構成することを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項7】 上記第2の結合系を、略円筒状の入力面及び略球面状の出力面を有し、上記第2のレンズにより上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の平面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する第3のレンズから構成することを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項8】 上記第2の結合系の出力面を、出射ビ

ムが上記第2の結合系の光軸に対して交差するように傾斜させて構成するとともに、上記光ファイバの入力面を、入射されたビームが上記光ファイバの光軸方向に屈折するように傾斜させて構成したことを特徴とする請求項1記載の光結合装置。

【請求項9】 上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致するかどうか調べる第1の工程と、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致しないときに、上記第1の平面内の結像位置を上記第2の平面内の結像位置に近づけるように上記第2の結合系を光軸方向に移動させ、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とを一致させる第2の工程とを備えることを特徴とする請求項1記載の光結合装置の調整方法。

【請求項10】 上記第2の工程における上記第2の結合系の移動量 $\Delta d$ を、 $M_x$ を第1の平面における上記第1の結合系及び上記第2の結合系の結合倍率、 $D_r$ を上記半導体レーザの出射ビームの楕円率、 $M_{x2}$ を上記第1の平面における上記第2の結合系の倍率、 $\Delta Z_1$ を上記半導体レーザの光軸方向の位置ずれとしたとき、次式で与えられる量としたことを特徴とする請求項9記載の光結合装置の調整方法。

$$\Delta d = M_x^2 (D_r^2 - 1) / M_{x2}^2 \cdot \Delta Z_1$$

【請求項11】 レーザビームを出射する半導体レーザ、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザの出射ビームを略平行にする第1の結合系、上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させる第2の結合系、及び上記第2の結合系の出射ビームが結合される光ファイバからなる光結合装置と、外部から入力される光と上記光結合装置が出力する光とを結合する合波器と、励起媒質がドープされ、上記合波器の出力により励起されて上記外部から入力される光を増幅するとともに、増幅された光を出力する光ファイバとを備えた光増幅装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、レーザ発振器から出射されたレーザ光を効率良く光ファイバに結合するための光結合装置、及びその調整方法、ならびにこの光結合装置を用いた光増幅装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 まず、従来の光結合装置について説明する。光結合装置は、半導体レーザ等のレーザ発振器から出射されたレーザ光を効率良く光ファイバに入射させるために用いられる。半導体レーザの出射光を高率良く光ファイバに結合するためには、半導体レーザと光ファイバとの間に設けられる光結合装置の結合系の倍率を最適

な値に設定する必要がある。

【0003】図10に示されるように、半導体レーザ1の活性層1aに平行な面(X軸を含む面)におけるビームウエスト・スポットサイズを $\omega_{LX}$ 、活性層に垂直な面(Y軸を含む面)におけるビームウエスト・スポットサ

$$M_{OPT} = \omega_F / (\omega_{LX} \cdot \omega_{LY})^{1/2} \quad \dots (1)$$

【0004】上記式(1)は、図11に示されるように、 $M_{OPT}$ の倍率のレンズを通して光ファイバの端面に照射されたレーザ光の大きさ(長軸 $M_{OPT} \omega_{LX}$ と短軸 $M_{OPT} \omega_{LY}$ との相乗平均値)と光ファイバのスポットサイ

$$\eta = 4 \cdot D_r / (1 + D_r)^2 \quad \dots (2)$$

ここで $D_r$ は $\omega_{LX}$ と $\omega_{LY}$ の比( $\omega_{LY}/\omega_{LX}$ )であり、半導体レーザのビーム断面形状の楕円率(楕円の長軸と短軸の比)を意味する。

【0006】この式(2)に基づいて計算された楕円率 $D_r$ とモード形状不整合損失との関係を図12のグラフに示す。このグラフから分かるように $D_r=1$ の時は損失は零であるが、 $D_r$ が大きくなるにしたがって楕円形と円形のモード形状不整合による損失が増加する。

【0007】現在通常の光ファイバ通信に用いられている波長1.3 $\mu m$ 、1.55 $\mu m$ の半導体レーザや、ファイバ増幅器に用いられるエルビウム・ドープファイバを励起するための波長1.48 $\mu m$ の半導体レーザのビーム楕円率は約1.1~1.2である。この場合、図12からわかるように、これらの半導体レーザにおける形状不整合損失は0.1dB以下であり、あまり問題にならない。

【0008】しかし、エルビウム・ドープファイバ増幅器の低雑音化、高効率化に有利である励起波長0.98 $\mu m$ の半導体レーザの楕円率は2~3と大きい。この場合、図12からわかるように、この半導体レーザの形状不整合損失は0.5~1.3dBと大きな値となり、無視できなくなる。

$$f_{2X} = f_1 \cdot \omega_F / \omega_{LX} \quad \dots (3)$$

$$f_{2Y} = f_1 \cdot \omega_F / \omega_{LY} \quad \dots (4)$$

【0010】7aは集光レンズ6の水平結合面における主平面、7bは集光レンズ6の垂直結合面における主平面である。集光レンズ6の長さは、水平結合面主平面7aと結像点の距離が水平結合面焦点距離 $f_{2X}$ と等しく、かつ、垂直結合面主平面7bと結像点の距離が垂直結合面焦点距離 $f_{2Y}$ と等しくなるように設定される。シングルモードファイバである光ファイバ2の入力面は上記結像点に設置されている。8aは集光レンズ6の水平結合面にのみ曲率を有する、集光レンズ6の出力面に設けられた円筒面、8bは集光レンズ6の垂直結合面にのみ曲率を有する、集光レンズ6の入力面に設けられた円筒面である。

【0011】次に、上記従来例における光結合装置の動作について説明する。半導体レーザ1より出射された、発散ビームである水平面出射ビーム3及び垂直面出射ビ

\*イズを $\omega_{LY}$ 、光ファイバの導波モードのスポットサイズを $\omega_F$ と置くと、最適倍率 $M_{OPT}$ は次式で表される。なお、次式は、河野健治「光デバイスのための光結合系の基礎と応用」(現代工学社、1991年)の58頁に記載されている。

※ $\omega_F$ とが等しいということ意味する。

【0005】また、光結合器の結合系がこのように設定されたときの半導体レーザと光ファイバの結合効率 $\eta$ は次式で表される。

★【0009】この問題点を解決するために、図13に示される光結合装置が提案されている。同図は、1993年電子情報通信学会秋季全国大会C-116に示された従来の光結合装置の断面図であり、同図(a)は半導体レーザの活性層に水平な水平結合面における断面図、同図(b)は半導体レーザの活性層に垂直な垂直結合面における断面図である。図13において、1はビームウエスト・スポットサイズが $\omega_{LX}$ 、 $\omega_{LY}$ であり、波長が0.98 $\mu m$ である半導体レーザ、2は半導体レーザ1の出射ビームが結合される光ファイバである。光ファイバ2の導波モードスポットサイズは $\omega_F$ である。3は半導体レーザ1の活性層に水平な水平結合面における水平面出射ビーム、4は半導体レーザ1の活性層に垂直な垂直結合面における垂直面出射ビーム、5は水平面出射ビーム3及び垂直面出射ビーム4を平行ビームに変換するコリメートレンズである。コリメートレンズ5は水平結合面と垂直結合面において同じ値の焦点距離 $f_1$ を有する。また、上記半導体レーザ1の出力面は上記コリメートレンズ5のほぼ焦点面に設置されている。6は集光レンズである。集光レンズ6の水平結合面における焦点距離 $f_{2X}$ と垂直結合面における焦点距離 $f_{2Y}$ とは異なる。これらの値は、ほぼ以下の関係にある。

ーム4は、コリメートレンズ5により平行ビームに変換される。ここで、半導体レーザ1の水平面ビームウエスト・スポットサイズ $\omega_{LX}$ は垂直面ビームウエスト・スポットサイズ $\omega_{LY}$ に比較して小さい( $\omega_{LX} < \omega_{LY}$ )ので、水平面出射ビーム3の広がりや垂直面出射ビーム4の広がりやに比較して小さいビームとなっている。これは、ビームウエスト・スポットサイズが小さい程、回折によるビーム広がりが大きくなることによる。

【0012】まず、水平結合面における動作について図13(a)に基づき説明する。コリメートレンズ5により平行ビームに変換された水平面出射ビーム3は集光レンズ6に入射され、集光レンズ6の出力面に設けられた円筒面8aで屈折を受けて集光ビームに変換され、光ファイバ2に結合される。ここで、水平結合面における結合倍率 $M_X$ は、次式に示すようにコリメートレンズ5の

焦点距離  $f_1$  と集光レンズ6の水平結合面焦点距離  $f_{2X}$  \* の比で表される。

$$M_X = f_{2X} / f_1 \quad \dots (5)$$

【0013】ここで、 $f_{2X}$ は先に式(3)に示された値※ ※に設定されているので、 $M_X$  は次式で表される。

$$M_X = \omega_F / \omega_{LX} \quad \dots (6)$$

【0014】したがって、この結合系における水平結合面・結合倍率 $M_X$  は最適倍率 $\omega_F / \omega_{LX}$ に設定されており、水平結合面でのモード形状不整合損失は生じない。

【0015】次に、垂直結合面の動作について図13

(b)に基づき説明する。コリメートレンズ5により平行ビームに変換された垂直面出射ビーム4は、集光レン★10

$$M_Y = f_{2Y} / f_1 \quad \dots (7)$$

【0016】ここで、 $f_{2Y}$ は先に式(4)に示した値に☆ ☆設定されているので $M_Y$  は次式で表わされる。

$$M_Y = \omega_F / \omega_{LY} \quad \dots (8)$$

【0017】したがって、この結合系における水平結合面・結合倍率 $M_Y$  は最適倍率 $\omega_F / \omega_{LY}$ に設定されており、垂直結合面でのモード形状不整合損失も生じない。

【0018】このように、図13の従来の光結合装置において、半導体レーザーのビームが楕円であることによるモード形状不整合損失は、水平結合面と垂直結合面の最適倍率をそれぞれ式(6)、式(8)に示したように独立して設定することができるので、より低減される。

【0019】しかし、一方で、水平結合面倍率 $M_X$  と垂◆

$$\Delta Z_{2X} = M_X^2 \cdot \Delta Z_1 \quad \dots (9)$$

$$\Delta Z_{2Y} = M_Y^2 \cdot \Delta Z_1 \quad \dots (10)$$

【0021】ここで、上式より $M_X$  と $M_Y$  が等しい場合は $\Delta Z_{2X}$ と $\Delta Z_{2Y}$ は一致するが、図13の光結合装置のように、 $M_X$  と $M_Y$  が異なる場合は $\Delta Z_{2X}$ と $\Delta Z_{2Y}$ は一致しない。このような水平結合面と垂直結合面における\*

$$\begin{aligned} \Delta A_S &= (M_Y^2 - M_X^2) \cdot \Delta Z_1 \\ &= M_X^2 \cdot (D_r^2 - 1) \cdot \Delta Z_1 \quad \dots (11) \end{aligned}$$

【0022】図14に、半導体レーザー1とコリメートレンズ5の光軸方向位置ずれ $\Delta Z_1$  とこれにより生じる非点隔差による結合損失の関係の計算結果を示す。これより非点隔差損失を0.1dB以下に抑制して非点隔差による影響を無視できるようにするためには、 $\Delta Z_1$  を1~2 $\mu m$ 以下にする必要がある。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の光結合装置では、水平結合面倍率 $M_X$  と垂直結合面 $M_Y$  が異なっているため、半導体レーザー1とコリメートレンズ5との間隔の設定がずれたときに結像点において非点隔差が発生し、損失が生じる。この非点隔差による損失を無視できるレベルに抑えるためには、半導体レーザー1とコリメートレンズ5の位置の誤差を、光軸方向の設定精度として1~2 $\mu m$ 以下にしなければならない。この設定精度は非常に厳しい値であり、組み立てが非常に困難になるという問題点があった。

【0024】この発明は、このような問題点を解消するためになされたもので、半導体レーザーとコリメートレンズの位置設定のずれにより生じる結像点での非点隔差

★ズ6に入射される。そして、集光レンズ6の入力面に設けられた円筒面8bで屈折を受けて集光ビームに変換され、光ファイバ2に結合される。ここで、垂直結合面における結合倍率 $M_Y$  は、次式に示すように、コリメートレンズ5の焦点距離 $f_1$  と集光レンズ6の垂直結合面焦点距離 $f_{2Y}$ との比で表される。

☆設定されているので $M_Y$  は次式で表わされる。

◆直結合面 $M_Y$  が異なる場合は、半導体レーザー1とコリメートレンズ5の設定によっては結像点において非点隔差が生じると問題が生じる。

【0020】半導体レーザー1とコリメートレンズ5の設定位置関係が、設計値から光軸方向に $\Delta Z_1$  ずれた場合、結像点は光軸方向に倍率の2乗を掛けた分だけずれる。したがって、水平結合面と垂直結合面の結像点のずれをそれぞれ $\Delta Z_{2X}$ 、 $\Delta Z_{2Y}$ と置くとこれらはそれぞれ以下の式で表される。

\*結像点のずれを非点隔差と称する。非点隔差がある場合、光ファイバへの結合効率が低下する。結像点での非点隔差の大きさ $\Delta A_S$  は、式(9)(10)より次式で表される。

を、簡単な補正により低減することができる光結合装置及びその調整方法を得るためのものである。さらに、この光結合装置を用いた光増幅装置を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る光結合装置は、レーザービームを出射する半導体レーザーと、上記半導体レーザーの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザーの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザーの出射ビームを略平行にする第1の結合系と、上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させる第2の結合系と、上記第2の結合系の出射ビームを受ける光ファイバとを備えたものである。

【0026】請求項2に係る光結合装置は、上記半導体レーザーの出射ビームの出射角が小さくなる方向に上記第1の平面を設定したものである。

【0027】請求項3に係る光結合装置は、上記第1の

平面を上記半導体レーザの活性層に平行な水平結合面とし、上記第2の平面を上記半導体レーザの活性層に垂直な垂直結合面としたものである。

【0028】請求項4に係る光結合装置は、上記第1の結合系を、上記第1の平面内及び上記第2の平面内で同じ焦点距離を有し、それぞれの平面内で上記半導体レーザの出射ビームを平行ビームに変換する第1のレンズと、入出力面のうちのすくなくとも一方が略円筒状であり、上記第1のレンズの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームのまま透過する第2のレンズとから構成したものである。

【0029】請求項5に係る光結合装置は、上記第1の結合系を、略球面状の入力面及び略円筒状の出力面を有し、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームにして出射するレンズから構成したものである。

【0030】請求項6に係る光結合装置は、上記第2の結合系を、屈折率の分布特性が光軸から半径方向に向かって小さくなる放物線状であり、略円筒状の入力面及び平面状の出力面を有し、上記第1の結合系により上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する第3のレンズから構成したものである。

【0031】請求項7に係る光結合装置は、上記第2の結合系を、略円筒状の入力面及び略球面状の出力面を有し、上記第2のレンズにより上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の平面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する第3のレンズから構成したものである。

【0032】請求項8に係る光結合装置は、上記第2の結合系の出力面を、出射ビームが上記第2の結合系の光軸に対して交差するように傾斜させて構成するとともに、上記光ファイバの入力面を、入射されたビームが上記光ファイバの光軸方向に屈折するように傾斜させて構成したものである。

【0033】請求項9に係る光結合装置の調整方法は、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致するかどうか調べる第1の工程と、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致しないときに、上記第1の平面内の結像位置を上記第2の平面内の結像位置に近づけるように上記第2の結合系を光軸方向に移動させ、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とを一致させる第2の工程とを備えるものである。

【0034】請求項10に係る光結合装置の調整方法

は、上記第2の工程における上記第2の結合系の移動量  $\Delta d$  を、 $M_x$  を第1の平面における上記第1の結合系及び上記第2の結合系の結合倍率、 $D_r$  を上記半導体レーザの出射ビームの楕円率、 $M_{x2}$  を上記第1の平面における上記第2の結合系の倍率、 $\Delta Z_1$  を上記半導体レーザの光軸方向の位置ずれとしたとき、次式で与えられる量としたものである。

$$\Delta d = M_x^2 (D_r^2 - 1) / M_{x2}^2 \cdot \Delta Z_1$$

【0035】請求項11に係る光増幅装置は、レーザビームを出射する半導体レーザ、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザの出射ビームを略平行にする第1の結合系、上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させる第2の結合系、及び上記第2の結合系の出射ビームが結合される光ファイバからなる光結合装置と、外部から入力される光と上記光結合装置が出力する光とを結合する合波器と、励起媒質がドープされ、上記合波器の出力により励起されて上記外部から入力される光を増幅するとともに、増幅された光を出力する光ファイバとを備えたものである。

【0036】

【作用】請求項1の発明においては、半導体レーザがレーザビームを出射し、第1の結合系が上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザの出射ビームを略平行にし、第2の結合系が上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させ、光ファイバが上記第2の結合系の出射ビームを受けることにより、上記第2の結合系による第1の平面内の結像点と第2の平面内の結像点の位置の調整が独立になされる。

【0037】請求項2の発明においては、上記半導体レーザの出射ビームの出射角が小さくなる方向に上記第1の平面を設定し、収差を少なくする。

【0038】請求項3の発明においては、上記第1の平面を上記半導体レーザの活性層に平行な水平結合面とし、上記第2の平面を上記半導体レーザの活性層に垂直な垂直結合面とし、上記半導体の出射ビームの出射角を最小にする。

【0039】請求項4の発明においては、上記第1の平面内及び上記第2の平面内で同じ焦点距離を有し、上記第1の結合系を構成する第1のレンズが、それぞれの平面内で上記半導体レーザの出射ビームを平行ビームに変換し、入出力面のうちのすくなくとも一方が略円筒状であり、上記第1の結合系を構成する第2のレンズが、上



記第1のレンズの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームのまま透過する。

【0040】請求項5の発明においては、略球面状の入力面及び略円筒状の出力面を有し、上記第1の結合系を構成するレンズが、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームにして出射する。

【0041】請求項6の発明においては、屈折率の分布特性が光軸から半径方向に向かって小さくなる放物線状であり、略円筒状の入力面及び平面状の出力面を有し、上記第2の結合系を構成する第3のレンズが、上記第1の結合系により上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する。

【0042】請求項7の発明においては、略円筒状の入力面及び略球面状の出力面を有し、上記第2の結合系を構成する第3のレンズが、上記第2のレンズにより上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の平面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する。

【0043】請求項8の発明においては、出射ビームが上記第2の結合系の光軸に対して交差するように出力面を傾斜させて構成された上記第2の結合系、及び、入射されたビームが上記光ファイバの光軸方向に屈折するように入力面を傾斜させて構成された上記光ファイバが、上記半導体レーザへの戻り光を抑制する。

【0044】請求項9の発明においては、第1の工程で上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致するかどうか調べ、上記第2の工程で上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致しないときに、上記第1の平面内の結像位置を上記第2の平面内の結像位置に近づけるように上記第2の結合系を光軸方向に移動させ、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とを一致させる。

【0045】請求項10の発明においては、上記第2の工程における上記第2の結合系の移動量 $\Delta d$ を、上記半導体レーザの光軸方向の位置ずれ $\Delta Z_1$ に比べて低い精度ですむ、次式の値とする。

$$\Delta d = M_x^2 (D_r^2 - 1) / M_{x2}^2 \cdot \Delta Z_1$$

【0046】請求項11の発明においては、半導体レーザがレーザビームを出射し、第1の結合系が上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザの出射ビームを略平行にし、第2の結合系が上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平

面内で結像させて光ファイバに出射ビームを結合され、合波器が成外部から入力される光と上記光ファイバからの出射光とを結合し、励起媒質がドープされた光ファイバが、上記合波器の出力により励起されて上記外部から入力される光を増幅するとともに、増幅された光を出力する。

【0047】

【実施例】

実施例1. 以下、この発明の一実施例を図に基づいて説明する。図1はこの実施例1の光結合装置の構成図である。図1(a)はこの光結合装置の上面図である。この図は、半導体レーザの活性層に水平な水平結合面における光結合の状態を示している。図1(b)はこの光結合装置の側面図である。この図は、半導体レーザの活性層に垂直な垂直結合面における光結合の状態を示している。

【0048】これら、図1(a)、(b)において、1は半導体レーザである。半導体レーザ1が出射するレーザ光は波長0.98 $\mu$ mである。また、そのビームウエスト・スポットサイズは、水平結合面において $\omega_{Lx}$ であり、垂直結合面において $\omega_{Ly}$ である。2は半導体レーザ1の出射ビームが結合される光ファイバである。光ファイバ2の導波モードスポットサイズは $\omega_F$ である。3は半導体レーザ1の活性層に水平な水平結合面における水平面出射ビーム、4は半導体レーザ1の活性層に垂直な垂直結合面における垂直面出射ビームである。

【0049】9は、水平結合面において、図1(a)に示されるように水平面出射ビーム3を集光ビームに変換して倍率 $M_{x1}$ で結像するとともに、垂直結合面において、図1(b)に示されるように垂直面出射ビーム4を平行ビームに変換する第1の結合系である。第1の結合系9の垂直結合面における焦点距離は $f_{y1}$ である。半導体レーザ1は、ほぼこの焦点距離 $f_{y1}$ の位置に配置されている。9aは第1の結合系9の入力面、9bは第1の結合系9の出力面である。10は水平結合面における第1の結合系9による第1の結像点である。

【0050】12は、水平結合面内において、図1(a)に示されるように第1の結合系9により第1の結像点10に結像され、発散ビームとなった水平面出射ビーム3を集光ビームに変換して倍率 $M_{x2}$ で光ファイバ2に結合するとともに、垂直結合面内において、図1

(b)に示されるように第1の結合系9で平行ビームに変換された垂直面出射ビーム4を、集光ビームに変換して光ファイバ2に結合する第2の結合系である。第2の結合系12の垂直結合面における焦点距離は $f_{y2}$ である。光ファイバ2の端面は、ほぼこの焦点距離 $f_{y2}$ の位置に配置されている。11aは水平結合面における第2の結合系12による第2の結合点、11bは垂直結合面における第2の結合系12による第2の結合点である。半導体レーザ1、第1の結合系9及び第2の結合系12

の位置が予め定められた関係にある場合には、第2の結合点11a及び11bは同一の位置にある。12aは第2の結合系12の入力面、12bは第2の結合系12の出力面である。なお、垂直結合面における第1の結合系9及び第2の結合系12による倍率を $M_y$ とすると、 $M_y = f_{y2} / f_{y1}$ の関係にある。

【0051】図2は、図1に示された光結合装置の第1の結合系9と第2の結合系12を実現するための具体的な構成図の例である。91は半導体レーザ1の出射ビームが入射される第1のレンズである。第1のレンズ91は、水平結合面及び垂直結合面において同じ焦点距離を有する。第1のレンズ91は、水平結合面及び垂直結合面において半導体レーザ1の出射ビーム3、4を平行ビームにそれぞれ変換する。92は屈折率が異なるガラス材料により構成され、第1のレンズ91の出射ビームが入射される第2のレンズである。第2のレンズ92は水平結合面において入出力面が曲面であり、第1の結像点10に焦点を結ぶ。また、第2のレンズ92は垂直結合面において入出力面が平面であり、第1のレンズ91が出射する平行ビームをそのまま平行ビームとして出射する。第1のレンズ91及び第2のレンズ92は第1の結合系9を構成する。

【0052】121は、水平結合面において入力面が曲面であるとともに、出力面が平面であり、また、垂直結合面において入出力面が平面である第3のレンズである。第3のレンズは、光軸から半径方向に離れるにしたがって屈折率の分布が方物線状に小さくなる屈折率分布型のレンズである。第3のレンズ121は第2の結合系12を構成する。

【0053】次に動作について説明する。図2において、半導体レーザ1より出射された発散ビームである水平面出射ビーム3は、第1のレンズ91により平行ビームに変換される。第1のレンズ91が出射する平行ビームである水平面出射ビーム3は、第2のレンズ92に入射される。第2のレンズ92の水平結合面における入射面は所定の曲率を有する。平行ビームはこの曲面により屈折を受けて集光ビームに変換され、第1の結像点10に結像される。

【0054】一方、半導体レーザ1より出射された発散ビームである垂直面出射ビーム4は、第1のレンズ91により平行ビームに変換される。第1のレンズ91が出射する平行ビームである垂直面出射ビーム4は、第2のレンズ92に入射される。垂直結合面においては、第2\*

$$M_x = M_{x1} \cdot M_{x2}$$

また、第1の結合系9と第2の結合系10を合わせた結

$$M_y = f_{y2} / f_{y1}$$

【0061】ここで、水平結合面倍率 $M_x$ は、以下の条件を満足するように設定されている（ $\omega_F$ は光ファイバ2の導波モードのスポットサイズ、 $\omega_{LX}$ は半導体レーザ★

$$M_x = \omega_F / \omega_{LX}$$

\*のレンズの入出力面がいずれも平面であるので屈折を受けない。したがって、入射された平行ビームは、平行ビームのまま第2のレンズ92から出射される。

【0055】第1の結像点10に結像された水平面出射ビーム3は、再び発散ビームとなり第3のレンズ121に入射される。水平結合面において第3のレンズ121の入力面は所定の曲率を有する曲面であり、また、第2のレンズ121は光軸から半径方向に離れるにしたがって屈折率の分布が方物線状に小さくなるという特性を有する。この曲面及びこの特性により、水平面出射ビーム3は屈折を受け、集光ビームに変換されて光ファイバ2に結合する。

【0056】一方、第2のレンズ92を出射した、平行ビームである垂直面出射ビーム4は第3のレンズ121に入射される。垂直結合面内において、第3のレンズ121の入出力面は平面であるが、光軸から半径方向に離れるにしたがって方物線状に小さくなるように分布した屈折率の変化により垂直面出射ビーム4は屈折を受け、集光ビームに変換されて光ファイバ2に結合する。すなわち、第3のレンズ121は屈折率分布媒質でできているため入出力端面が平面の場合でも屈折を受けるので、平行ビームが集光されるのである。

【0057】なお、水平結合面においては、第3のレンズ121の入力面が曲面であるためこの部分の屈折力も加わり、屈折効果は垂直結合面の場合に比べて大きくなる。このため、水平結合面においては、一度結像点10に結像された後発散ビームとなった水平面出射ビーム3を再度光ファイバ2に結像することができる。

【0058】ここで、第1のレンズ91は、通常の光軸回りに対称な形状のレンズであるので、容易に実現できる。第2のレンズ92は、円筒形のガラス棒を輪切りにすることにより、容易に実現できる。第3のレンズ22は、両端が平面の通常の屈折率分布型レンズの片端面を円筒面に形成するだけで、容易に実現できる。

【0059】以上のように、図2の第1の結合系9及び第2の結合系12によれば、図1に示されるように、第1の結合系9と第2の結合系12との間において、水平結合面で第1の結像点10が形成されるとともに、垂直結合面で出射ビームが平行ビームになる。

【0060】図1または図2に示された光学系において、第1の結合系9と第2の結合系10を合わせた結合系全体の水平結合面倍率 $M_x$ は次式で表される。

$$\dots (12)$$

※合系全体の垂直結合面倍率 $M_y$ は次式で表される。

$$\dots (13)$$

★1の活性層に水平な面のビームウエスト・スポットサイズ）。

$$\dots (14)$$



また、垂直結合面倍率 $M_Y$ は、以下の条件を満足するよう  
に設定されている ( $\omega_{LY}$ は半導体レーザ1の活性層に\*

$$M_Y = \omega_F / \omega_{LY}$$

【0062】したがって、水平結合面倍率 $M_X$ と垂直結合  
面倍率 $M_Y$ の比は、次式に示すように、半導体レーザ※

$$M_Y / M_X = \omega_{LX} / \omega_{LY} = D_r$$

【0063】図1または図2に示された光学系におい  
て、水平結合面における結合倍率 $M_X$ は式(14)の値  
に設定されているので、従来例の場合と同様に、半導体  
レーザ1の水平結合面ビームウエスト・スポットサイズ  
 $\omega_{LX}$ は、 $\omega_F$ に変換される。したがって、半導体レーザ  
1より出射した水平面出射ビーム3は、効率良く光ファイ  
バ2に結合される。

【0064】また、垂直結合面における結合倍率 $M_Y$ は  
式(15)の値に設定されているので、同様に、半導体  
レーザ1の垂直結合面ビームウエスト・スポットサイズ  
 $\omega_{LY}$ は、 $\omega_F$ に変換される。したがって、半導体レーザ  
1より出射した垂直面出射ビーム4は、効率良く光ファイ  
バ2に結合される。

【0065】以上、説明したように、図1または図2に  
示された光学系において、半導体レーザ1より出射され  
た楕円ビームは、効率良く光ファイバ2に結合される。  
なお、以上の説明において、水平結合面に第1の結像点  
10がある場合を例にとり説明してきたが、これに限る  
ものではない。たとえば、垂直結合面に第1の結像点1  
0があってもよい。また、以上の説明は、互いに直交す  
る水平結合面や垂直結合面を用いた場合に限らず、光軸  
に平行で、かつ、交差する2つの平面を用いた場合にっ  
いても適用できる。

【0066】次に、半導体レーザ1と第1の結合系9と  
が位置関係が、光軸方向に対して予め定められた位置か  
らずれた場合について、図3及び図4に基づき説明す  
る。図3に示したように、半導体レーザ1と第1の結合  
系9の設定位置関係が、設計値(同図の点線の位置)か  
ら光軸方向に $\Delta Z_1$ だけずれて、半導体レーザ1が第1  
の結合系9に近づいたとする。これにともない、図3  
(a)に示されるように、水平結合面の第2の結像点1  
1cは、水平結合面における正規の第2の結像点11a  
(同図の点線の位置)から光軸方向に $\Delta Z_{21X}$ だけ外側  
に移動する。ここで、第2の結合系12の出力面12b  
と第2の結像点11cとの間隔を $W_{dx}$ とおく。

【0067】同様に、図3(b)に示されるように、垂  
直結合面の第2の結像点11dは、垂直結合面における  
正規の第2の結像点11b(同図の点線の位置)から光  
軸方向に $\Delta Z_{21Y}$ だけ外側に移動する。ここで、第2の  
結合系12の出力面12bと第2の結像点11dとの間  
隔を $W_{dy}$ とおく。

【0068】ところで、結像点は光軸方向に倍率の2乗  
を掛けた分だけずれるから、図1または図2に示された★

$$\Delta d = G \cdot \Delta Z_1$$

\*垂直な面のビームウエスト・スポットサイズ)。

$$\dots (15)$$

※1のビームの楕円率 $D_r$ と等しくなる。

$$\dots (16)$$

★光学系では、水平結合面の倍率 $M_X$ と垂直結合面の倍率  
 $M_Y$ の値が異なるので、水平結合面における結像点のず  
れ $\Delta Z_{2X}$ と垂直結合面における結像点のずれ $\Delta Z_{2Y}$ とは  
異なる。この差を $\Delta A_S$ とおく。ここで、 $W_{dy} - W_{dx} =$   
 $\Delta Z_{21Y} - \Delta Z_{21X} = \Delta A_S$ である。このように、第2  
の結合系12の出力面12bに対する結像点の位置は、  
水平結合面と垂直結合面とで異なり、非点隔差による結  
合損失を生じてしまう。

【0069】この非点隔差をなくすために、第2の結合  
系12の位置を調整して $\Delta A_S = 0$ とすることを検討す  
る。ここで、第2の結合系12を光軸方向に移動させる  
ことを考える。図3のように、半導体レーザ1が第1の  
結合系9に近づくように $\Delta Z_1$ だけずれた場合におい  
て、図4のように、第2の結合系12を第1の結合系9  
に近づくように移動させる。すると、図4(a)に示さ  
れるように、水平結合面の第2の結像点11cは外側の  
結像点11eに向かって移動する。すなわち、第2の結  
合系12の出力面12bと第2の結像点との距離は、 $W_{dx}$   
から $W_{dx}'$ (すなわち $W_{dx} < W_{dx}'$ )になる。

【0070】一方、図4(b)に示されるように、垂直  
結合面の第2の結像点11dの位置は変化しない( $W_{dy}$   
 $= W_{dy}'$ )。これは、垂直結合面において、第2の結合  
系12に入射するビームが平行ビームであるため、第2  
の結合系12を光軸方向に移動させた場合においても第  
2の結合系12による結像関係が変化しないからであ  
る。つまり、第2の結合系12を光軸方向に移動させた  
場合、光ファイバ2への結像点の位置は水平結合面にお  
いてのみ変化する。したがって、水平結合面における第  
2の結像点11cが垂直結合面における第2の結像点1  
1dに一致するように(すなわち、 $W_{dx}' = W_{dy}$ )、第  
2の結合系12を光軸方向に移動させて調整することに  
より、非点隔差を補正することができる。

【0071】なお、半導体レーザ1が第1の結合系9か  
ら遠ざかるようにずれているときは、第2の結合系12  
を第1の結合系9から遠ざかるように移動させる。

【0072】次に、水平結合面の第1の結像点11cと  
垂直結合面の第1の11dとを一致させて非点隔差を補  
正するために必要な第2の結合系12の調整量 $\Delta d$ を示  
す。半導体レーザ1と第1の結合系9の設定において光  
軸方向の位置ずれ $\Delta Z_1$ が生じた場合に、非点隔差を補  
正するために必要な第2の結合系12の調整量 $\Delta d$ は次  
式で表される。

$$\dots (17)$$

【0073】ここで、

$$G = M_X^2 (Dr^2 - 1) / M_{X2}^2 \quad \dots (18)$$

である。

【0074】上式に示されるように、第2の結合系12の調整量 $\Delta d$ は $\Delta Z_1$ のG倍である。このGの値が大きい程、実際の調整量である $\Delta d$ は大きくなり、調整が容易になる。ここで、このGを緩和係数と称する。

【0075】次に、上式(17)(18)を導出する。図4

(a)において、半導体レーザ1と第1の結合系9との\*

$$\Delta S_X = M_{X1}^2 \cdot \Delta Z_1 \quad \dots (19)$$

また、図からわかるように、

$$\Delta d = \Delta S_X' - \Delta S_X \quad \dots (20)$$

0)

一方、

$$\Delta S_X' = \Delta Z_{21Y} / M_{X2}^2 \quad \dots (21)$$

【0077】式(20)に、式(19)(21)を代入すると、

$$\Delta d = \Delta Z_{21Y} / M_{X2}^2 - M_{X1}^2 \cdot \Delta Z_1$$

さらに、式(10)を代入して

$$\Delta d = M_Y^2 \cdot \Delta Z_1 / M_{X2}^2 - M_{X1}^2 \cdot \Delta Z_1$$

$$= \{ (M_Y^2 - M_X^2) / M_{X2}^2 \} \cdot \Delta Z_1$$

$$= \{ M_X^2 (Dr^2 - 1) / M_{X2}^2 \} \cdot \Delta Z_1$$

このように式(17)(18)が得られる。

【0078】図5に、この緩和係数Gの値の計算例を示す。ここで、標準的な $0.98 \mu m$ 半導体レーザとして楕円率 $Dr = 2.5$ 、 $\omega_{LX} = 1.9 \mu m$ 、 $\omega_{LY} = 0.76 \mu m$ を仮定した。また光ファイバとしては $\omega_F = 3 \mu m$ を仮定した。このとき、 $M_X$ は式(14)より決まり、1.6である。また、式(12)より、 $M_{X2}$ は $M_{X1}$ と $M_{X2}$ の積が $M_X$ に一致するように決められる。図5は、横軸に $M_{X2}$ をとり、縦軸に緩和係数Gをとり、両者の関係を示すグラフである。

【0079】図5により、 $M_{X2}$ を1程度に設定した場合、緩和係数Gは10以上となることが分かる。したがって、この実施例1の光結合装置によれば、従来例の場合に要求されていた精度 $1 \sim 2 \mu m$ は、10倍緩和されて $10 \sim 20 \mu m$ になる。

【0080】以上のように、この実施例1の光結合装置によれば、第1の結合系と第2の結合系の間において、水平結合面で出射ビームの第1の結像点を有し、垂直結合面で平行ビームとなるように構成したので、半導体レーザと第1の結合系との位置関係がずれたときでも、第2の結合系の位置を移動させて第2の結像位置を調整することができ、非点隔差による結合損失を低減することができる。そして、この調整において、垂直結合面の第2の結像位置は変化しないので、水平結合面の第2の結像位置のみの調整ですむとともに、その調整の精度が著しく緩和されるという特徴があり、調整が非常に容易になる。

【0081】なお、以上の説明において、水平結合面にリレー結合系を設定していたが、水平結合面と垂直結合

\*位置関係が正しいときの第1の結像点を10a、半導体レーザ1の位置が $\Delta Z_1$ だけずれたときの第1の結像点を10b、補正後の第1の結像点の位置を10cとおく。そして、点10aと点10bの間の距離を $\Delta S_X$ 、点10aと点10cの間の距離を $\Delta S_X'$ とおく。

【0076】ここで、

$$\dots (19)$$

$$\dots (20)$$

$$\dots (21)$$

面のどちらの面にリレー結合系を設定してもよい。この場合においても、半導体レーザとコリメートレンズの位置設定のずれにより生じる結像点での非点隔差を、よりゆるい精度の調整で補正することが出来るという効果を得ることができる。

【0082】もっとも、リレー結合系は結像を2回行うために、コリメート系と比較してより多くの屈折面を必要とする。一般に屈折面においては収差が発生し、この収差により結合効率が劣化する。また、この収差は屈折面への入射位置が光軸から離れた位置にある程大きい。したがって、半導体レーザの出射ビームの出射角が小さい方の結合面(水平結合面)をリレー結合系とすることにより、より光ファイバへの結合効率が大きくなる。

【0083】また、図5からわかるように、リレーレンズである第2の結合系及び第3のレンズのリレー結合面での倍率を1以下とすることにより、非点隔差を補正するために必要なレンズの光軸方向位置調整が従来方式と比較して少なくとも10倍以上緩和される。たとえば、リレー倍率 $M_{X2}$ を1以下に設定すれば緩和係数Gは10以上となる。したがって、従来例において $\Delta Z_1$ に要求されていた調整精度 $1 \sim 2 \mu m$ は、10倍以上緩和されて、少なくとも $10 \sim 20 \mu m$ 以上になる。

【0084】実施例2. 実施例2は、実施例1の光結合装置を用いた光増幅装置である。以下、図6に基づいて説明する。図6はこの実施例2の光増幅装置の構成ブロック図である。同図において、14は、実施例1の図1に示された、 $0.98 \mu m$ の半導体レーザと光ファイバ2とを効率良く結合するための光結合装置、15は増幅される $1.55 \mu m$ 帯の信号光を入力する入力ファイバ、16は利得媒質としてEr(エルビウム)原子がドープされているErドープファイバ、17はこのErドープファイバ16に対し、光結合装置14からの $0.98 \mu m$ 励起光と入力ファイバ15からの $1.55 \mu m$ 帯信号光を入力するための合波器、18は $1.55 \mu m$ 帯信号光の逆流を防いでレーザ発振を防止するためのアイ

20

30

40

50

ソレータ、19は増幅された $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光を出力するための出力ファイバである。

【0085】次に動作について説明する。 $0.98\mu\text{m}$ 励起光は光結合装置14により効率良く光ファイバ2に結合される。この光ファイバ2に結合された $0.98\mu\text{m}$ 励起光は合波器17に輸入される。一方、 $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光は入力ファイバ15より合波器17に輸入される。上記の合波器17に輸入された $0.98\mu\text{m}$ 励起光及び $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光は、この合波器17で合波されてからErドープファイバ16に輸入される。ここで上記 $0.98\mu\text{m}$ 励起光はErドープファイバ16中のEr原子を励起し、 $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光はこの励起されたEr原子のエネルギーをもらって増幅される。この増幅された $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光はアイソレータ18を透過した後に出力ファイバ19から出力される。

【0086】ここで、出力ファイバ19から出力された、増幅された $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光のうちの一部が、反射により逆方向に伝搬した場合を考える。このとき、逆方向に伝搬した $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光は、アイソレータ18に輸入される。ところで、アイソレータ18は逆方向に進む $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光を遮断するので、 $1.55\mu\text{m}$ 帯信号光のErドープファイバ16への再入射が防がれる。これにより $1.55\mu\text{m}$ 帯でのレーザ発振が防がれる。

【0087】この構成の光増幅装置では、実施例1に示された、結合効率の良い光結合装置14を用いることにより、より多くの $0.98\mu\text{m}$ 励起パワーをErドープファイバ16に輸入することができるので、より低雑音で高効率の光増幅特性を実現できる。

【0088】実施例3。なお、実施例1の光結合装置において、第2の結合系12の光軸と光ファイバ2の光軸とが一致していたが、光ファイバからの反射を防止するためにこれら光軸をずらすように構成してもよい。

【0089】この実施例3は、反射を防ぐための傾斜面を備えた光ファイバに対するビームの整合性を向上するためのものである。以下、図7に基づいて説明する。同図は、水平結合面におけるこの実施例3の光結合装置の第2の結合系と光ファイバとの結合部を表示した図である。

【0090】同図において、上述の実施例1の図2における符号と同一符号は同一または相当部分を示すので、符号の説明は適宜省略する。第3のレンズ121の出力面121bは平面状であるが、この平面の法線と第3のレンズ121の光軸とは一致せず、一定の角度をなす

(図2の場合は、これらは一致していた)。すなわち出力面121bは傾斜面である。また、光ファイバ2の入力面2aも同様に傾斜面である。25は光ファイバ2の傾斜面2aで反射された反射光である。また、第3のレンズ121の光軸と光ファイバ2の光軸とは、平行になるように設定されている。

【0091】次に動作について説明する。第1の結像点10に結像された水平面出射ビーム3は、再び発散ビームとなり第3のレンズ121に入射される。入射されたビームは、水平結合面において、曲率を有する曲面により屈折を受けるとともに、半径方向に方物線状に小さくなるように分布した屈折率分布により屈折を受け、集光ビームに変換されて傾斜面121bに達する。この集光ビームは傾斜面121bにおいて屈折を受ける。傾斜面121bの法線は光軸に対し傾いているから、出射されるビームの方向は光軸に対して傾いている。この状態で、水平面出射ビーム3は光ファイバ2の傾斜面2aに入射される。

【0092】ここで、ファイバ2の傾斜面2aと第3のレンズ121の傾斜面121bは平行である。またファイバ2の光軸と第3のレンズ121の光軸は平行である。この関係により、光ファイバ2の傾斜面2aに入射された水平面出射ビーム3は、この傾斜面2aで屈折を受けて光ファイバ2の光軸方向に伝搬するビームとなる。これにより、出射ビームは光ファイバ2に効率良く結合される。

【0093】一方、光ファイバ2の傾斜面2aで反射された反射光25は入射光と異なる方向に反射されるので、第2のレンズ121に戻ることはない。したがって、半導体レーザへの戻り光が抑制される。

【0094】なお、以上の説明において、第3のレンズ121の出力面が水平結合面において傾斜している場合を例にとり説明したが、垂直結合面において傾斜している場合についても適用できて、同様の効果が得られる。

【0095】実施例4。実施例1の光結合装置において、第1の結合系及び第2の結合系として図2に示されるものが用いられた。この実施例4では、第2の結合系の他の構成を説明する。

【0096】この実施例4の第2の結合系を構成する第3のレンズは、入力面に円筒面を、出力面に球面をそれぞれ形成したものであり、第3のレンズの材質は屈折率が一般的なガラスである。以下、図8に基づいて説明する。同図において、上述の実施例における符号と同一符号は同一または相当部分を示すので、符号の説明は適宜省略する。122は屈折率が一般的なガラスでできた第3のレンズ、122aは第3のレンズの入力面である。入力面121aは、水平結合面において曲率を有する曲面であり、かつ、垂直結合面において平面であるような円筒面をなしている。122bは第3のレンズの出力面である。出力面121bは球面をなしている。

【0097】次に動作について説明する。この実施例4は、実施例1の第3のレンズの構造を変えたものである。主として、第3のレンズの動作について説明する。第2の結像系9により第1の結像点10に結像された水平面出射ビーム3は、再び発散ビームとなり第3のレンズ122に入射される。入射されたビームは、水平結合面

において曲率を有する第3のレンズ122の入力面122aにより屈折を受けて平行ビームに変換される。この平行ビームは、第3のレンズ122の出力面122bによりさらに屈折を受けて集光ビームに変換され、光ファイバ2に結合される。

【0098】一方、第2の結合系9により平行ビームに変換された垂直面出射ビーム4は、第3のレンズ122に入射される。入射されたビームは、垂直結合面において曲率を有さない平面である第3のレンズ122の入力面122aにより屈折を受けずに平行ビームのまま透過する。この平行ビームは、第3のレンズ122の出力面122bにより屈折を受けて集光ビームに変換され、光ファイバ2に結合される。以上のように、第3のレンズ122により第2の結合系12の働きを実現できる。

【0099】この実施例4は、実施例1の光結合装置と同様の効果を奏する。さらに、この実施例4によれば、第3のレンズ122の入力面122a及び出力面122bがそれぞれ円筒面及び球面とからなり、曲率をそれぞれ変えることができる。したがって、実施例1に示した屈折率分布形レンズを用いた場合と比較して、倍率、焦点位置などに関する設計の自由度が大きい。

【0100】なお、第3のレンズ122の入力面122aに形成された円筒面の曲面形状を非円筒形状とするとともに、出力面122bに形成された球面の形状を非球面形状としてもよい。これにより通常の円筒面及び球面で発生する波面収差を低減することができ、光ファイバへの結合効率が増大する。

【0101】実施例5。この実施例5では、第1の結合系9の他の構成について説明する。実施例5は、実施例1の第1のレンズ91と第2のレンズ92を一体化したものである。以下、図9に基づいて説明する。同図において上述の実施例における符号と同一符号は同一または相当部分を示すので、符号の説明は適宜省略する。同図において、93は第1の結合系9を構成する一体化レンズである。一体化レンズ93は、半導体レーザー1の出射ビームを水平結合面内において集光ビームに変換するとともに、垂直結合面内において平行ビームに変換する。93aは一体化レンズの入力面に形成された球面形状の入力面、93bは水平結合面において曲率を有する曲面であり垂直結合面において平面であるような円筒面をなす出力面である。

【0102】次に動作について説明する。この実施例5は、実施例1の第1のレンズ91と第2のレンズ92を一体化したものであるので、主にこの一体化レンズ93の動作について説明する。半導体レーザー1より出射された発散ビームである水平面出射ビーム3は、一体化レンズ93の入力面93aにより屈折を受けて平行ビームに変換される。この平行ビームに変換された水平面出射ビーム3は、一体化レンズ93の水平結合面において曲率を有する円筒面をなす出力面93bにより集光ビームに

変換されて第1の結像点10に結像される。

【0103】一方、半導体レーザー1より出射された発散ビームである垂直面出射ビーム4は、一体化レンズ93の入力面93aにより屈折を受けて平行ビームに変換される。出力面93bは垂直結合面において曲率を持たない平面である。したがって、この平行ビームに変換された垂直面出射ビーム4は、一体化レンズ93の出力面93bにより屈折を受けることなく、平行ビームのまま一体化レンズ93を出射する。以上のように、一体化レンズ93により実施例1における第1の結合系9の働きが実現される。

【0104】この実施例5は、実施例1の光結合装置と同様の効果を奏する。さらに、この実施例5によれば、第2の結合系を1つのレンズにより構成したので、光結合装置の構成が簡単になるという効果がある。

【0105】なお、一体化レンズ93の入力面93aに形成された球面の形状を非球面形状とするとともに、出力面93bに形成された円筒面の曲面形状を非円筒形状としてもよい。これにより通常の円筒面及び球面で発生する波面収差を低減し光ファイバへの結合効率を増大することができる。

【0106】

【発明の効果】以上のように、請求項1の発明によれば、レーザービームを出射する半導体レーザーと、上記半導体レーザーの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザーの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザーの出射ビームを略平行にする第1の結合系と、上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させる第2の結合系と、上記第2の結合系の出射ビームを受ける光ファイバとを備えたので、上記第2の結合系による上記第1の平面での結像点の位置を上記第2の平面での結像点と独立に調整することができて、非点隔差を低減するための調整が容易になる。

【0107】また、請求項2の発明によれば、上記半導体レーザーの出射ビームの出射角が小さくなる方向に上記第1の平面を設定したので、屈折面で生じる収差を小さくできて、結合効率が増大する。

【0108】また、請求項3の発明によれば、上記第1の平面を上記半導体レーザーの活性層に平行な水平結合面とし、上記第2の平面を上記半導体レーザーの活性層に垂直な垂直結合面としたので、屈折面で生じる収差を最小にできる。

【0109】また、請求項4の発明によれば、上記第1の結合系を、上記第1の平面内及び上記第2の平面内で同じ焦点距離を有し、それぞれの平面内で上記半導体レーザーの出射ビームを平行ビームに変換する第1のレンズと、入出力面のうちのすくなくとも一方が略円筒状であり、上記第1のレンズの出射ビームを受けて上記第1の

平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームのまま透過する第2のレンズとから構成したので、簡単な構成のレンズで上記第1の結合系を構成することができる。

【0110】また、請求項5の発明によれば、上記第1の結合系を、略球面状の入力面及び略円筒状の出力面を有し、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記第1の平面内で集光ビームに変換するとともに、上記第2の平面内で平行ビームにして出射するレンズから構成したので、レンズの数を少なくできて、構成が簡単になる。

【0111】また、請求項6の発明によれば、上記第2の結合系を、屈折率の分布特性が光軸から半径方向に向かって小さくなる放物線状であり、略円筒状の入力面及び平面状の出力面を有し、上記第1の結合系により上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する第3のレンズから構成したので、簡単な構成のレンズで上記第2の結合系を構成することができる。

【0112】また、請求項7の発明によれば、上記第2の結合系を、略円筒状の入力面及び略球面状の出力面を有し、上記第2のレンズにより上記第1の平面内で結像された後の発散ビームを再度集光ビームに変換して上記光ファイバに結合するとともに、上記第2の平面内の平行ビームを集光ビームに変換して上記光ファイバに結合する第3のレンズから構成したので、簡単な構成のレンズで上記第2の結合系を構成できるとともに、レンズの倍率、焦点位置などの設計の自由度を大きくできる。

【0113】また、請求項8の発明によれば、上記第2の結合系の出力面を、出射ビームが上記第2の結合系の光軸に対して交差するように傾斜させて構成するとともに、上記光ファイバの入力面を、入射されたビームが上記光ファイバの光軸方向に屈折するように傾斜させて構成したので、半導体レーザへの戻り光を抑制できる。

【0114】また、請求項9の発明によれば、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致するかどうか調べる第1の工程と、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とが一致しないときに、上記第1の平面内の結像位置を上記第2の平面内の結像位置に近づけるように上記第2の結合系を光軸方向に移動させ、上記第1の平面内の結像位置と上記第2の平面内の結像位置とを一致させる第2の工程とを備えたので、上記第2の結合系による上記第1の平面での結像点の位置を上記第2の平面での結像点と独立に調整することができて、非点隔差を低減するための調整が容易になる。

【0115】また、請求項10の発明によれば、上記第2の工程における上記第2の結合系の移動量 $\Delta d$ を、M

x を第1の平面における上記第1の結合系及び上記第2の結合系の結合倍率、Drを上記半導体レーザの出射ビームの楕円率、 $M_{x2}$ を上記第1の平面における上記第2の結合系の倍率、 $\Delta Z_1$ を上記半導体レーザの光軸方向の位置ずれとしたとき、次式で与えられる量としたので、上記半導体レーザの光軸方向の位置ずれに比べ低い要求精度で非点隔差を低減できる。

$$\Delta d = M_x^2 (D_r^2 - 1) / M_{x2}^2 \cdot \Delta Z_1$$

【0116】また、請求項11の発明によれば、レーザビームを出射する半導体レーザ、上記半導体レーザの出射ビームを受けて上記出射ビームの方向に平行な第1の平面内で結像させるとともに、上記半導体レーザの出射ビームの方向に平行で、かつ、上記第1の平面に交差する第2の平面内で上記半導体レーザの出射ビームを略平行にする第1の結合系、上記第1の結合系の出射ビームを受けて上記第1の平面内及び上記第2の平面内で結像させる第2の結合系、及び上記第2の結合系の出射ビームが結合される光ファイバからなる光結合装置と、外部から入力される光と上記光結合装置が出力する光とを結合する合波器と、励起媒質がドープされ、上記合波器の出力により励起されて上記外部から入力される光を増幅するとともに、増幅された光を出力する光ファイバとを備えたので、より低雑音で、高効率の光増幅特性を有する光増幅装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施例1に係る光結合装置の構成図である。

【図2】 この発明の実施例1に係る光結合装置の第1の結合系及び第2の結合系の構成図である。

【図3】 この発明の実施例1に係る光結合装置の調整方法の説明図である。

【図4】 この発明の実施例1に係る光結合装置の調整方法の説明図である。

【図5】 この発明の実施例1に係る光結合装置の調整の際の補正の精度が、従来に比べて何倍緩和されるかを示す緩和係数Gのグラフの一例である。

【図6】 この発明の実施例2に係る光増幅装置の構成図である。

【図7】 この発明の実施例3に係る光結合装置の要部を示す図である。

【図8】 この発明の実施例4に係る光結合装置の第1の結合系及び第2の結合系の構成図である。

【図9】 この発明の実施例5に係る光結合装置の第1の結合系及び第2の結合系の構成図である。

【図10】 半導体レーザのビームウエストスポットサイズの説明図である。

【図11】 半導体レーザの出射ビームを光ファイバに結合させるための結合系の最適倍率の説明図である。

【図12】 半導体レーザのビーム断面形状の楕円率Drとモード形状不整合損失の関係を示すグラフの一例で

ある。

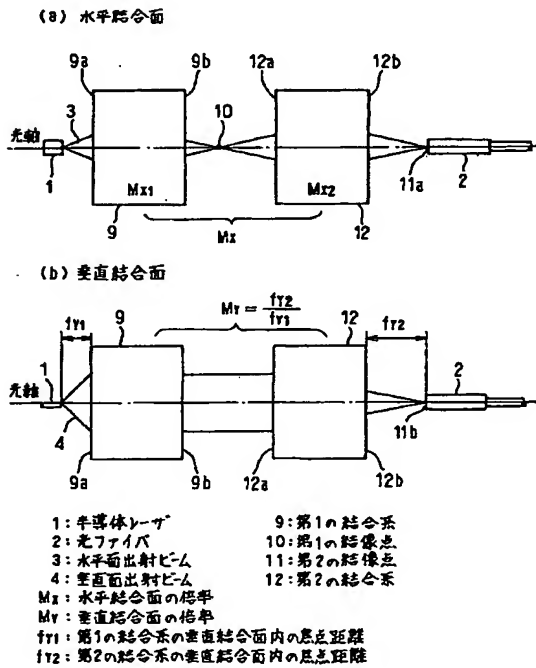
【図13】 従来の光結合装置の構成図である。

【図14】 従来の光結合装置における、半導体レーザ1とコリメートレンズ5の光軸方向位置ずれ $\Delta Z_1$ とこれにより生じる非点隔差による結合損失の関係を示すグラフの一例である。

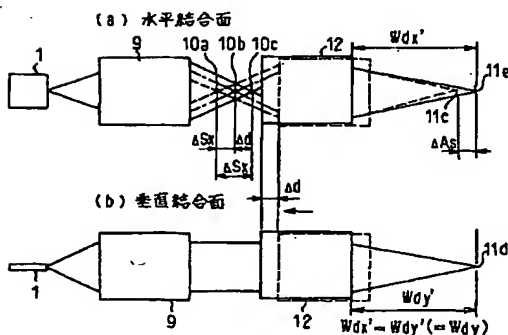
【符号の説明】

1 半導体レーザ、2 光ファイバ、3 水平面出射ビーム

【図1】

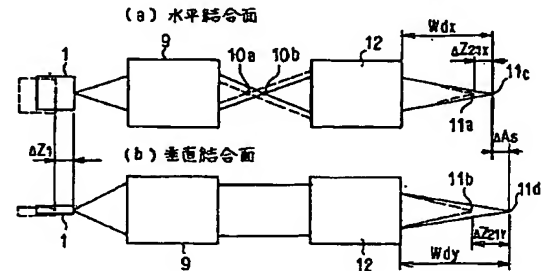


【図4】

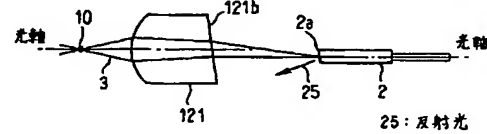


ーム、4 垂直面出射ビーム、9 第1の結合系、12 第2の結合系、14 光結合装置、15 入力ファイバ、16 Erドープファイバ、17 合波器、18 アイソレータ、19 出力ファイバ、91 第1のレンズ、92 第2のレンズ、93 一体化レンズ、121 第3のレンズ、122 屈折率が一樣なガラスでできた第3のレンズ。

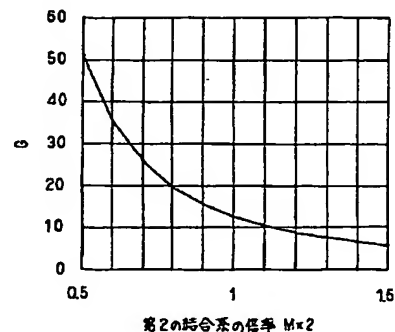
【図3】



【図7】

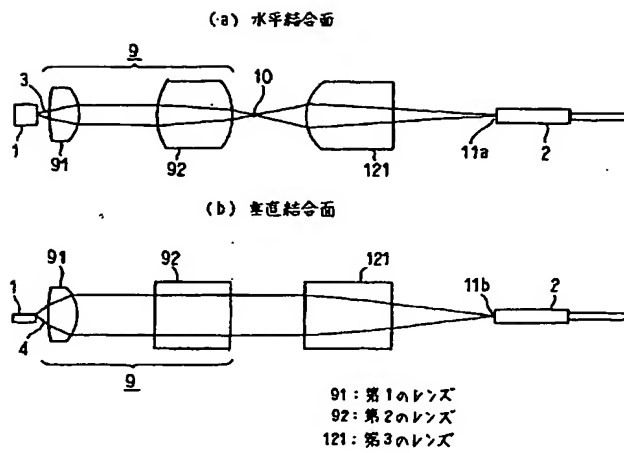


【図5】

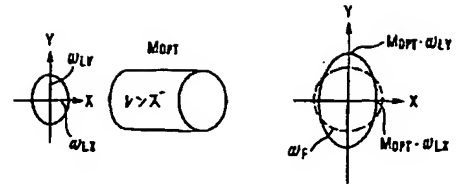




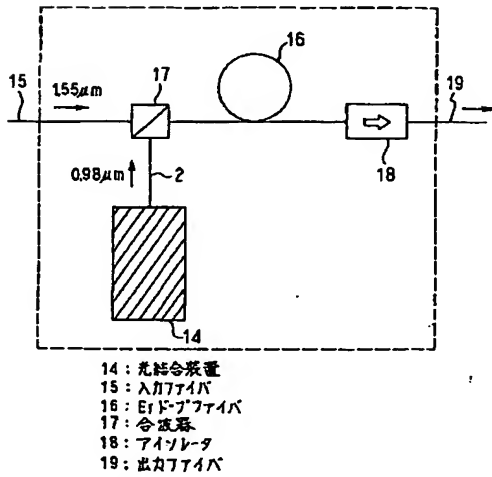
【図2】



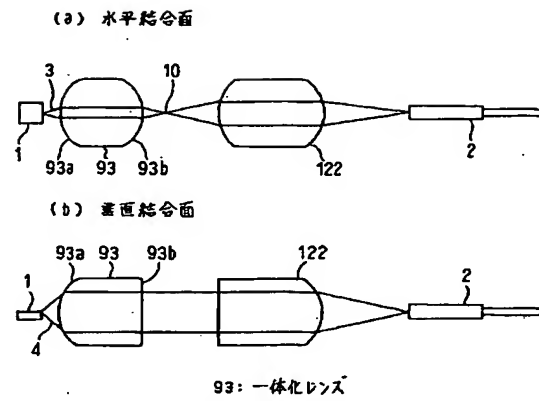
【図11】



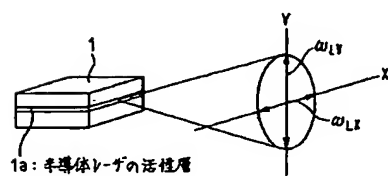
【図6】



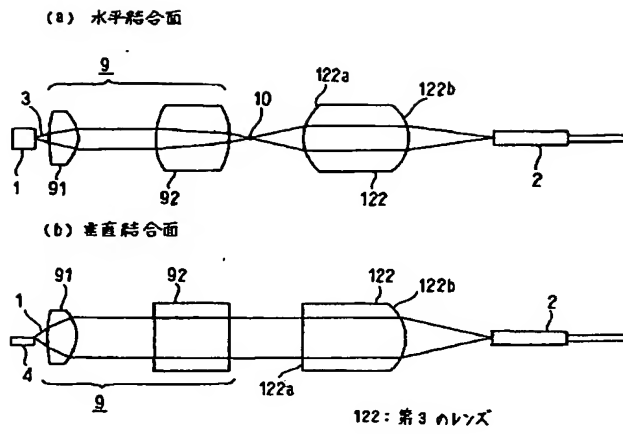
【図9】



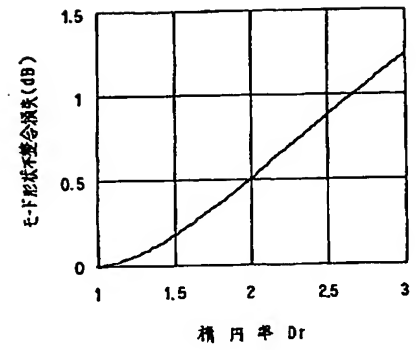
【図10】



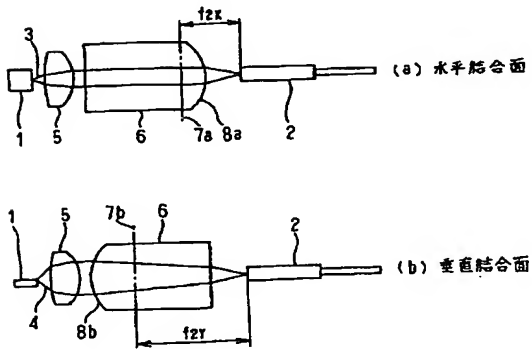
【図8】



【図12】



【図13】



【図14】

